

이진 영상의 로버스트 워터마킹

이 창 훈, *김 정 은, *박 민 기, 박 창 우, 박 민 용
연세대 전기전자공학과, *서울산업대 전자공학과
전화 : 02-2123-2868

Robust Watermarking of Binary Image Signatures

Chang-Hoon Lee, *Jung-Eun Kim, *Min-Kee Park, Chang-Woo Park, Mignon Park
Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei Univ.
* Dept. of Electronic Eng., Seoul National Univ. of Tech.
E-mail : chlee@yeics.yonsei.ac.kr

요약

오류 제어 부호화(ECC : Error Control Coding)의 기법을 이용한 이진 영상의 강인한 워터마킹에 관하여 다룬다. 워터마크를 채널 부호화법을 이용하여 부호화하고, 매입할 대상 영상을 DCT변환을 하여 주파수 영역으로 표현한 후, 부호화된 워터마크를 저전력 영역과 고전력 영역에 매입한다. 이러한 과정을 거친 워터마크된 영상은 외부의 다양한 공격에 대해 강인함을 실험을 통하여 보인다.

I. 서론

최근 디지털 기술의 발전과 인터넷의 보급으로 멀티미디어의 이용과 유통이 급증하고 있다. 디지털 미디어의 특성상 복사본의 질이 원본과 같으며, 편집과 재생의 편리성과 효율성으로 인하여 불법적인 유통도 날로 증가하는 추세이다. 이러한 상황에서 저작자의 권익 보호로 창작 의욕 증진과 이를 보호함과 동시에 미디어의 자유로운 유통을 보장할 수 있는 한 방법으로 워터마킹 기술이 주목을 받고 있다.

디지털 워터마킹 알고리즘은 공간영역에서 어떤 화소의 흑백 레벨을 변화시키는 방법[3,4]과 변환을 통한 주파수영역에서 성분의 계수를 수정하는 방법[2,5,6,9]으로 크게 나눌 수 있다. 그리고, 상황과 목적에 따라 요구되는 조건이 각각 다르지만, 일반적인 경우에 있어 공통적인 요구 사항으로 매입한 워터마크 신호가 육안으로는 식별되지 않아야 하는 비가시성과 기하학적 변형이

나 변환 등에도 워터마크 신호를 검출할 수 있는 강인성(robustness)을 들 수 있다[7]. 워터마킹에 있어서 매입할 워터마크 신호의 크기, 비가시성과 강인성 사이에는 서로 상반된 관계를 가지고 있다. 그래서, 워터마킹에 관한 연구는 주로 이러한 요구사항을 가능한 만족할 수 있는 알고리즘 개발에 중점을 두어왔다. 같은 맥락으로 본 논문에서는 전력 분포를 고려한 이진 영상으로 된 워터마크 매입과 채널 부호화 기법을 이용한 강인성 향상에 관하여 논한다.

2절에서는 워터마크 매입 위치에 관한 견해와 기본적인 아이디어에 대하여 설명하고, 3절에서는 워터마킹 알고리즘의 구조를 살펴본다. 4절에서는 실험을 통하여 제안하는 알고리즘을 검증하고, 5절에서 마무리한다.

II. 워터마크 매입과 채널 부호화

워터마크 매입 위치에 관하여 먼저 생각해 보자. 영상에 있어서의 워터마킹에 관한 지금까지의 많은 연구들은 비가시성에 중점을 두어 고주파성분을 중심으로 하는 시각적으로 잘 식별할 수 없는 영역에 매입하는 방법이었다. 즉, 그 이유는 저주파 성분이나 대체로 중요한 영역에 워터마크를 매입하게 되면 비가시성의 저하나 화질 열화를 동반한다는 것이었다. 하지만, 이러한 경우에 이에 관한 지식을 가진 공격자로부터 쉽게 공격을 받을 수 있으며, 워터마크 매입에 영향을 적게 받는 만큼 예상되는 매입 위치 값의 편집이나 변형, 압축, 파일 형식 변환 등으로 인하여 간

단히 워터마크가 상실되어 버린다.

따라서, 변형이나 편집에 민감하고 시각적으로나 의미상 중요한 영역에 워터마크를 매입하는 것이 여러 공격을 피하기 쉬우며, 강인성의 측면에서도 유리하다는 것을 알 수 있다. 실제로 고주파 영역보다는 중간 주파수 영역에 워터마크를 매입하는 것이 보다 성능향상을 꾀할 수 있다는 보고가 있다[2]. 또한, 영상의 특성상 주파수 변환을 하여 얻은 직류 성분의 계수 값이 다른 성분보다 훨씬 크기 때문에 이제까지 꺼려왔던 직류 성분에도 워터마크를 매입할 수 있으며 강인성을 향상시킬 수 있다는 보고가 있다[9]. 그러나, 이와 같이 시각적으로나 의미상 중요한 부분의 변형은 화질의 열화를 일으키기 때문에 세심한 주의가 필요하다. 즉, 매입할 워터마크의 크기가 상당히 제한되거나 매입 강도가 낮아야 한다는 어려운 문제를 내포하고 있다.

이러한 문제에 대한 해결 방안으로 생각할 수 있는 것 중 하나는 매입할 데이터량을 줄이는 것으로 데이터 압축에 관련한 원천 부호화(source coding)하는 것이고, 다른 하나는 워터마크 신호의 매입 강도를 낮춤으로써 발생하는 오류 또는 같은 조건(매입 강도)에서 공격에 의한 오류를 원 상태로 복원하는 채널 부호화하는 것이다.

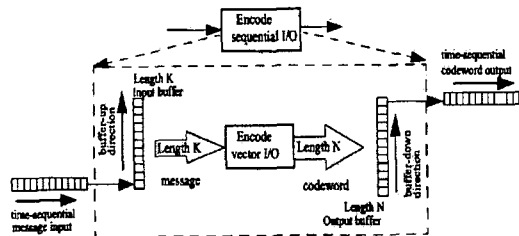


그림 1. 채널 부호화 (블록 부호화) 과정

워터마크를 신호로 보고, 매입할 대상 영상을 전송채널로 본다면 통신에서의 기법들을 적용할 수 있을 것이다. 스펙트럼 확산에 의한 워터마킹 [2]이 그 대표적인 예라 할 수 있다. 단, 매입할 대상 영상이 통신에서의 전송 채널의 역할을 할 뿐만 아니라 그 자체가 정보로서의 가치를 가지고 있으므로 가능한 손상을 줄여야 하는 점이 커다란 차이점일 것이다. 앞에서 언급한 방법 가운데서 본 논문에서는 후자에 따른 강인성 향상에 초점을 둔다.

발생되는 잡음에 의한 오류를 수신측이 검출 혹은 정정할 수 있도록 원래의 데이터에 새로운 데이터를 덧붙이는 방법인 오류 제어 부호화

(ECC : Error Control Coding)의 부호화 과정을 그림 1에 나타낸다. 채널에서 발생하는 잡음은 워터마킹에서는 외부 공격에 해당하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 따라서, 이러한 오류 제어 부호화 방법을 이용함으로써 워터마크 검출 능력을 향상시키려는 것이 본 논문의 기본 아이디어이다. 이러한 아이디어를 바탕으로 한 연구로 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquenghen) 부호화를 공간 영역에서의 워터마크 매입과 검출에 적용한 예 [5]가 있으나, 이와 달리 본 논문에서는 DCT변환에 의한 주파수 영역에서의 전력 분포를 고려하여 매입 위치로 저전력 영역과 고전력 영역으로 나누어 동일한 워터마크 신호를 매입하여 다양한 공격에도 검출 능력을 향상시키고 동시에 RS (Reed-Solomon) 부호화 [1]를 통해 오류 정정으로 외부 공격에 강인한 워터마킹을 구현한다.

III. 워터마킹 알고리즘

본 연구에서의 워터마크의 매입 대상으로는 편영상 흑백 영상, X 로 한다.

$$X = \{x(i, j), i = 1, 2, \dots, M_x, j = 1, 2, \dots, N_x\} \quad (1)$$

그리고, 저작물을 주장하기 위해 로고, 서명, 인장 등이 워터마크로 이용되며, 특히 이들은 이진 영상으로 표현되는 경우 많다. 그래서, 워터마크로는 이진 영상, W 로 정한다.

$$W = \{w(i, j), i = 1, 2, \dots, M_w, j = 1, 2, \dots, N_w\} \quad (2)$$

여기서, $w(i, j) \in \{0, 1\}$ 이다.

워터마크 매입 과정은 다음과 같다.

A. 행렬 신호를 열 벡터 신호로 변환

워터마크 신호인 행렬로 표현된 이진 영상을 벡터로 변환한다.

$$W_v = \text{Matrix_to_Vector}(W) = \{w_v(k) = w(i, j), k = N_w \cdot i + j\} \quad (3)$$

여기서, $w(i, j) \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, M_w, j = 1, 2, \dots, N_w$ 이다

B. 의사 난수에 의한 재배열

의사 난수(pseudo random number)를 발생시켜 열 벡터 신호의 순서를 재배열한다.

$$W_p = \text{Permute}(W_v) = \{w_p(k') = w_v(k), k = 1, 2, \dots, L, L = M_w \cdot N_w\} \quad (4)$$

여기서, 색인 k' 는 의사 난수에 의해 색인 k 를 재배열한 것이다. 그리고, L 은 이진 영상의 크기를 나타낸다.

C. Reed-Solomon 부호화

단계 B에서 재배열된 신호를 블록 부호화 방법으로 알려진 Reed-Solomon 알고리즘으로 부호화한다.

$$W_n = RS_Encoding(W_p) \quad (5)$$

$$= \{w_n(l), l=1,2,\dots,L_c, L_c = \text{ceil}(L/m/k)\}$$

여기서, n은 부호화된 심볼 블록의 크기, k는 부호화하려는 심볼 블록의 크기, L_c 는 부호화된 신호의 길이를 나타낸다. 이 신호를 전송 채널이 되는 원 영상에 매입하기 위해 다음과 같이 1과 -1로 구성되도록 변환해준다.

$$W_m = \{w_m(l), l=1,2,\dots,L_c\}, w_m = \begin{cases} 1, & w_n(l)=1 \\ -1, & w_n(l)=0 \end{cases} \quad (6)$$

D. 원 영상의 순방향 DCT변환

순방향 DCT변환을 거쳐 원 영상을 주파수 영역으로 변환하여 계수 행렬, F를 얻는다.

$$F = FDCT(X) \quad (7)$$

$$= \{f(i,j), i=1,2,\dots,M_x, j=1,2,\dots,N_x\}$$

E. 매입 위치 설정

워터마크를 매입하기 위한 위치 정보를 얻기 위하여 먼저 주파수 성분의 크기 순으로 정렬하여, 그 다음 신호를 매입할 두 영역으로 전력이 큰 영역, rh과 작은 영역, rl을 정한다.

$$F_v = \text{Matrix_to_Vector}(F) \quad (8)$$

$$= \{f_v(k), k=1,2,\dots,L_x, L_x = M_x \cdot N_x\}$$

$$F_s = \text{Sort}(F_v) \quad (9)$$

$$= \{f_s(k') | f_s(k'_a) < f_s(k'_b), k'_a < k'_b, k'=1,2,\dots,L_x\}$$

$$F_{rh} = \{f(i,j) | f_s(t_{rh}) \geq f(i,j) \geq f_s(t_{hl})\} \quad (10)$$

$$F_{rl} = \{f(i,j) | f_s(t_{rl}) \geq f(i,j) \geq f_s(t_{ll})\}$$

여기서,

$$t_{rh} = M_x \cdot N_x - \text{baseline}$$

$$t_{hl} = M_x \cdot N_x - \text{baseline} - L_c \quad (11)$$

$$t_{rl} = \text{baseline} + L_c$$

$$t_{ll} = \text{baseline} + 1$$

$$\text{baseline} = \text{ceil}(M_x/32) \cdot \text{ceil}(N_x/32)$$

이다.

F. 워터마크 매입

단계 C에서 얻어진 워터마크 신호, W_m 을 단계 E에서 설정한 위치에 매입한다. 즉, DCT계수, F_{rh} 과 F_{rl} 값을 아래 식에 따라 변경한다.

$$F^* = F_{m,rl}(1 + \alpha \cdot W_m) \quad (12)$$

여기서, α 는 매입 강도를 나타내고, 아래의 역변

환 과정을 거쳐 얻어진 영상의 화질의 변화 정도를 나타내는 PSNR(peak signal to noise ratio)를 구해 40dB 이상이 되도록 α 값을 정할 수 있다. 이후 특별히 언급하지않을 경우, 본 논문에서는 고전력 영역에서는 $\alpha=0.05$, 저전력 영역에서는 $\alpha=0.15$ 로 한다.

그 다음 F^* 를 역 DCT(IDCT)를 하여 워터마크가 매입된 영상을 얻는다.

$$X^* = IDCT(F^*) \quad (13)$$

워터마크 검출 과정은 매입 과정의 역순으로 구성되므로 생략하기로 하며, 본 연구의 검출 과정에서 사용한 후처리에 대해서만 설명하기로 한다. 워터마크의 검출 척도로는 아래식과 같은 정규화된 상관계수, NC를 사용한다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j) \cdot w^*(i,j)}{\sum_i \sum_j w(i,j) \cdot w(i,j)} \quad (14)$$

워터마크로 이진 영상을 가정하였다. 특히, 로고나 서명 등은 목적상 잡음이 혼합된 영상을 사용하는 경우는 일반적으로 없으므로, 검출된 워터마크의 상관계수를 구하여 그 값이 0.95보다 작을 경우에는 미디언 필터를 거치고, 그 이상일 경우에는 고립된 점들을 제거하는 후처리 과정을 거친 뒤, 다시 식(14)의 상관계수를 구한다. 마지막으로 저전력과 고전력 영역에서 각각 검출한 워터마크의 상관계수 중 큰 쪽을 검출 척도로 사용한다.

IV. 실험 결과

본 연구에서의 워터마크의 매입 대상으로 512x512(depth 8)의 lena 영상을, 워터마크로는 그림 2의 (c)와 같이 “건본”이라 적힌 96x48의 이진 영상을 사용하였다. 이때 RS부호화한 신호의 길이는 5334 비트였다. 여기서, n=127, m=123로 하였다. 제안방법의 강인성은 문헌 [8]에서 예시한 평가 사항 샘플 중에서 적당한 상황, JPEG 압축(100-25%), 잘라내기(100-50%), 감마보정(0.6-1.8), 미디언 필터(3x3)을 기준으로 상관계수, NC가 0.7 이상인 경우에 워터마크가 검출된 것으로 평가하였다.

그림 2.(a)에 워터마크된 영상을 나타내고, 이 영상의 화질 변화 정도는 PSNR=40.17dB 이다. 그림 2.(d)는 공격이 없는 상태에서 검출된 워터마크로 그 상관계수로 NC=1을 얻었다.

워터마크가 매입된 영상에 대해 미디언 필터 처리를 한 결과를 그림 2.(b)에, 검출된 워터마크를 그림 2.(e)에 나타낸다. 이 경우 상관계수로 $NC=0.8967$ 을 얻었다.



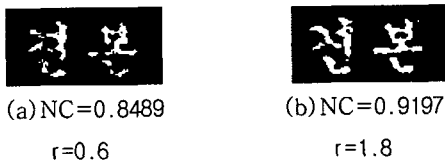
(a) 워터마크된 영상 (b) 미디언 필터링



(c) 워터마크 (d) $NC=1$ (e) $NC=0.8967$

그림 2. 워터마크된 영상과 미디언 필터링 결과

그림 3.(a)와 (b)는 각각 감마값을 0.6과 1.8로 보정한 결과 영상에서 검출한 워터마크를 나타낸다.

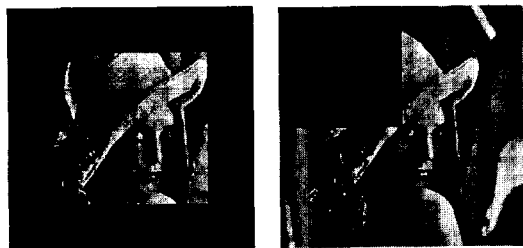


(a) $NC=0.8489$
 $r=0.6$

(b) $NC=0.9197$
 $r=1.8$

그림 3. 감마보정

25%와 50% 잘라내기를 한 영상과 검출 결과를 그림 4에 나타낸다.



(a) 50% 잘라내기

(b) 25% 잘라내기



(c) $NC=0.9327$



(d) $NC=0.9674$

그림 4. 잘라내기



(a) JPEG25% $NC=0.9201$ (b) JPEG50% $NC=0.9739$ (c) JPEG75% $NC=0.9982$

그림 5. JPEG 압축에 대한 검출 결과

V. 결론

본 연구에서는 워터마크를 채널 부호화법을 이용하여 부호화하고, 매입할 위치로 DCT변환을 하여 저전력 영역과 고전력 영역에 동일한 부호화된 신호를 매입하여, 다양한 공격에 대해 강인함을 실험을 통해 검증하였다. 앞으로 실험 항목에서 제외된 회전 변환에 대한 강인성 향상에 대한 연구가 기대된다.

참고문헌

- [1] S. Lin and D. Costello, Error Control Coding: Fundamentals and Applications, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983.
- [2] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Tran. On Image Processing, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [3] P. W. Wong, "A Watermark for Image Integrity and Ownership verification," In Proc. Of IS&TPIC Conf., May 1998.
- [4] C.-T. Hsu and J.-L. Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," IEEE Tran. On Image Processing, Vol. 8, No. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [5] J. R. Hernandez and F. Perez-Gonzalez, "Statistical Analysis of Watermarking Schemes for Copyright Protection of Images," Proc. of The IEEE, Vol. 87, No. 7, pp. 1142-1166, July 1999.
- [6] J. R. Hernandez, M. Amado, and F. Perez-Gonzalez, "DCT-Domain Watermarking Techniques for Still Images: Dector Performance Analysis and a New Structure," IEEE Tran. On Image Processing, Vol. 9, No. 1, pp. 55-68, Jan. 2000.
- [7] G. C. Langelaar, I. Setyawan, and R. L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 20-46, Sep. 2000.
- [8] F. A.P. Petitcolas, "Watermarking Schemes Evaluation," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 58-64, Sep. 2000.
- [9] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding Image Watermarks in DC Components," IEEE Tran. On Circuits & Sys. For Video Tech., Vol. 10, No. 6, pp. 974-979, Sep. 2000.